

文章编号:1671-6833(2013)02-0049-04

## 废橡胶对再生混凝土力学性能影响的试验研究

张卫东, 相 军, 王成武

(淮阴工学院 建筑工程学院, 江苏 淮安 223001)

**摘 要:**为研究废橡胶粒径、废橡胶取代率及再生混凝土取代率对混凝土立方体抗压强度及劈裂强度的影响,制备了多组不同废橡胶粒径、不同废橡胶取代率(0.5%、10%、15%)、不同再生混凝土取代率(20%、30%)的立方体试件。试验结果表明:废橡胶再生混凝土的强度与废橡胶或再生混凝土取代率关系明显,随取代率的增加而降低,最大降幅分别为45%和31%;与废橡胶粒径关系不明显,小粒径橡胶再生混凝土强度略低,抗压及劈裂强度下降幅度仅为1.6%和2.1%。通过对试验数据的统计回归,得到了废橡胶再生混凝土立方体抗压强度与劈裂强度之间关系的推荐公式。

**关键词:**废橡胶;再生混凝土;取代率;抗压强度;劈裂强度

**中图分类号:** TU528.01

**文献标志码:** A

**doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.00.013

### 0 引言

目前,我国每年轮胎报废量约360万吨,并以每年15%的速度递增;每年因拆迁而产生的废弃混凝土总量约1360万吨,大部分废旧橡胶和废弃混凝土得不到综合利用,成为工业垃圾,严重影响人类的生活环境,对废弃橡胶及废弃混凝土再生利用有利于节省资源、保护环境,具有重大意义。

近年来国内外对再生混凝土或废橡胶混凝土进行了大量的研究<sup>[1-5]</sup>,所谓再生混凝土是指将废弃的混凝土块经过破碎、清洗、分级后,按一定比例与级配混合,部分或全部代替砂石等天然集料(主要是粗集料),再加入水泥、水等配成的新混凝土。但关于两者同时掺入时混凝土的力学性能研究较少,若废橡胶再生混凝土相关力学性能等满足工程要求,则会进一步提高废橡胶及再生混凝土的利用率。肖建庄<sup>[6]</sup>和Ravindrarah<sup>[7]</sup>等研究成果表明:随着再生混凝土取代率的提高,混凝土抗压强度会随之下降,最大降幅约为30%。关于废橡胶混凝土,国外早在20世纪80年代就开始研究,而国内此方面的研究起步较晚。刘日鑫<sup>[8]</sup>研究成果表明:废橡胶的掺量对混凝土的强度影响较大,当废橡胶掺量达到20%时,废橡胶

颗粒混凝土的抗压、抗折强度分别下降了59.9%和50%。鉴于此,本课题组展开了橡胶粒径、橡胶取代率(0.5%、10%、15%)及再生混凝土取代率(20%、30%)对混凝土基本力学性能影响的试验研究,并探讨了橡胶再生混凝土立方体抗压强度与劈裂强度之间的关系。

### 1 原材料及试验设计

#### 1.1 试验原材料

水泥为宿迁淮河水泥有限公司生产的“猿洲”牌P.042.5水泥;石子为粒径5~30mm的天然碎石,级配合格,表观密度为2725 kg/m<sup>3</sup>;砂为天然中粗河砂,连续级配,细度模数为2.6,表观密度为2580 kg/m<sup>3</sup>。再生粗骨料由市内老开发区住宅楼梁柱经鄂式破碎机破碎而成,粒径5~30mm,级配良好;搅拌水为饮用自来水。

橡胶A为0.425mm橡胶粉,表观密度为1035 kg/m<sup>3</sup>;橡胶B为颗粒,粒径2~3mm,表观密度为1280 kg/m<sup>3</sup>,橡胶均为宿迁市兴亚橡胶有限公司生产。

#### 1.2 试验设计

按照普通C35混凝土设计配合比,具体见表1。

收稿日期:2012-12-20;修订日期:2013-01-18

基金项目:住建部科学技术项目(2008-k1-11);江苏省教育厅自然科学基金项目(11KJD560003);江苏省高校“青蓝工程”优秀骨干教师培养对象基金项目;宿迁市科技局基金项目(B2010021)

作者简介:张卫东(1981-),男,江苏南通人,淮阴工学院讲师,硕士,主要从事再生混凝土研究,E-mail:wdzhang@sqc.edu.cn.

表 1 混凝土配合比  
Tab. 1 Concrete mix ratio

编号	W/C 水灰比	配合比/(kg·m <sup>-3</sup> )						附加水
		C 水泥	S 砂	NCA 天然肾料	RCA 再生骨料	RB 废橡胶	W 水	
NC	0.43	430	574	1 237	—	—	185	—
NRC20	0.43	430	574	990	247	—	185	10
NRC20-A5	0.43	430	574	928	247	62	185	10
NRC20-A10	0.43	430	574	866	247	124	185	10
NRC20-A15	0.43	430	574	805	247	185	185	10
NRC20-B5	0.43	430	574	928	247	62	185	10
NRC20-B10	0.43	430	574	866	247	124	185	10
NRC20-B15	0.43	430	574	805	247	185	185	10
NRC30	0.43	430	574	866	371	—	185	15
NRC30-A5	0.43	430	574	804	371	62	185	15
NRC30-A10	0.43	430	574	742	371	124	185	15
NRC30-A15	0.43	430	574	681	371	185	185	15
NRC30-B5	0.43	430	574	804	371	62	185	15
NRC30-B10	0.43	430	574	742	371	124	185	15
NRC30-B15	0.43	430	574	681	371	185	185	15

注:编号 NC 表示普通混凝土;NRCr 中 NRC 表示再生混凝土,r 表示再生混凝土取代率;NRCr-Xy 中 X 表示橡胶粒径种类,y 表示废橡胶的取代率;配合比中 RB 表示废橡胶。

其中再生混凝土按照等质量的原则替换粗骨料质量的 20%、30%,废弃橡胶同样按照等质量的原则替换粗骨料的 5%、10%、15%,鉴于再生混凝土骨料的吸水率略高于普通粗骨料的考虑,笔者以附加水对其进行补偿。

1.3 试验方法

本试验采用强制式搅拌机进行搅拌,浇筑试件为边长 150 mm 的立方体,在振动台上振动成型,24 h 后拆模并立即搬入标准养护室进行养护.28 d 后按照《普通混凝土力学性能试验方法》(GB/T 50081—2002)<sup>[9]</sup>中的试验方法测定立方体抗压强度和劈裂强度,抗压强度试验加载速度为 0.4~0.5 MPa/s,劈裂试验加载速度为 0.04~0.05 MPa/s。

2 试验结果及分析

2.1 废橡胶取代率对抗压、劈裂强度的影响

废橡胶取代率( $\gamma$ )与橡胶再生混凝土 28 d 的立方体抗压强度 $f_{cu}$ 关系曲线,与劈裂强度 $f_t$ 关系曲线分别如图 1、图 2 所示。

由图 1、图 2 可知,废橡胶取代率对再生混凝土的强度影响较为显著。再生混凝土取代率为 20%,废橡胶 B 取代率为 5%、10%、15%时,抗压强度分别为再生混凝土抗压强度的 86.2%、72.5%和 56.9%,劈裂强度分别为再生混凝土劈裂强度的 89.7%、81.2%和 69.2%。此数据表明:①混凝土立方体抗压及劈裂强度与废橡胶取代率线性关系明显;②橡胶对抗压强度的不利影响程

度略大;③当废橡胶 B 取代率为 15%时,橡胶再生混凝土的立方体抗压强度(21.0 MPa)和劈裂强度(1.44 MPa)相比于再生混凝土而言均有较大幅度的下降,但其均达到普通 C15 混凝土强度标准,具有一定的工程使用价值。

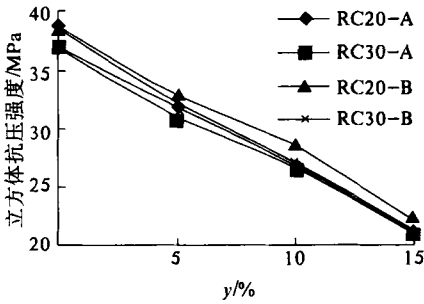


图 1  $f_{cu}$ - $\gamma$  关系曲线

Fig. 1 Curve relationship of  $f_{cu}$ - $\gamma$

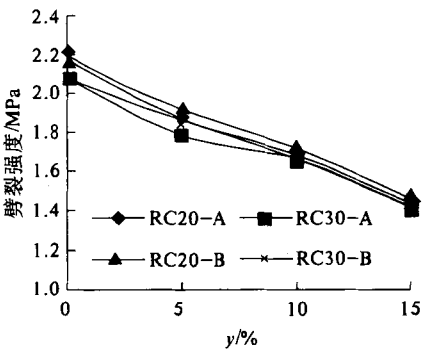


图 2  $f_t$ - $\gamma$  关系曲线

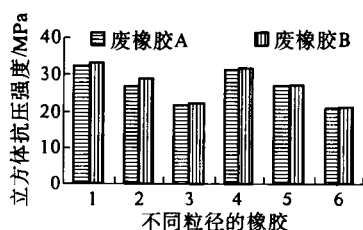
Fig. 2 Curve relationship of  $f_t$ - $\gamma$

废橡胶导致混凝土强度下降的主要原因是:  
①橡胶为弹性材料,模量较低,其强度低于混凝土

强度,从而降低了橡胶再生混凝土强度;②橡胶为憎水性材料,与水泥基体不能很好地结合和粘结,导致橡胶与混凝土之间形成孔隙,使其内部孔隙率加大;③掺入橡胶后增加了混凝土的含气量,进一步降低混凝土的强度.随着橡胶取代率的增大,这些不利作用会更加凸显,导致混凝土强度随橡胶取代率的增加而降低.劈裂强度下降幅度低于抗压强度是由于橡胶的抗撕裂能力、抗拉强度及变形能力均高于混凝土.

## 2.2 废弃橡胶粒径对抗压、劈裂强度的影响

图3、图4为废橡胶粒径与抗压强度和劈裂强度的关系.由图3、图4可见,再生混凝土取代率为30%,废橡胶取代率为5%、10%、15%时,废橡胶A再生混凝土的抗压强度分别为废橡胶B再生混凝土抗压强度的97.5%、99.5%和99.0%,劈裂强度分别为95.8%、98.7%和99.3%.此数据表明再生混凝土和废橡胶取代率相同的情况下,废橡胶粒径越大混凝土强度越大,但是影响程度均不是很显著.究其原因可能是在相同质量取代率的前提下,废橡胶B虽单个体积较大,但是总表面积没有废橡胶A大,导致废橡胶A与混凝土的接触面较大,形成更多的孔隙,导致废橡胶A再生混凝土的强度略低,再者由于橡胶颗粒越大则混凝土中含气量越大,废橡胶取代率越大该效应越明显,进而使混凝土强度降低,由于两者的共同影响,故橡胶粒径对混凝土强度的影响程度不显著.



1—NRC20-X5、2—NRC20-X5、3—NRC20-X5  
4—NRC20-X5、5—NRC20-X5、6—NRC20-X5

图3 废橡胶粒径与混凝土立方体抗压强度关系

Fig.3 Curve relationship of waste rubber diameter and cube compressive strength

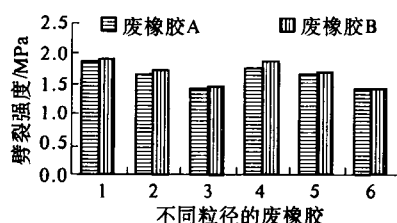
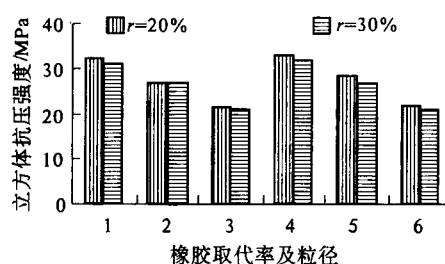


图4 废橡胶粒径与混凝土劈裂强度关系

Fig.4 Curve relationship of waste rubber diameter and splitting strength

## 2.3 再生混凝土取代率对抗压、劈裂强度的影响

图5、图6为混凝土取代率与抗压强度、劈裂强度的关系.由图5、图6可见,再生混凝土取代率对橡胶混凝土的强度影响比较明显.当橡胶种类或橡胶取代率相同时,随着再生混凝土取代率的提高,橡胶再生混凝土的抗压强度、劈裂强度均下降,抗压强度最多下降约6%,劈裂强度约4.5%.原因主要有两点:①掺入的骨料通过破碎得到,导致再生混凝土内部存在微裂缝,从而降低骨料强度;②再生混凝土外围被旧砂浆包裹,从而会减弱再生混凝土与水泥砂浆之间的粘结力.随着再生混凝土取代率的增高,两者的不利作用更为明显,进而降低混凝土强度.



1—NRCr-A5、2—NRCr-A10、3—NRCr-A15  
4—NRCr-B5、5—NRCr-B10、6—NRCr-B15

图5  $f_{cu}-r$  关系曲线

Fig.5 Curve relationship of  $f_{cu}-r$

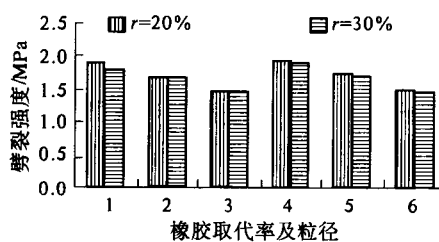


图6  $f_t-r$  关系曲线

Fig.6 Curve relationship of  $f_t-r$

## 2.4 抗压强度与劈裂强度的关系

普通混凝土规范<sup>[10]</sup>给出了立方体抗压强度与劈裂强度关系的公式

$$f_u = 0.19f_{cu}^{0.75}, \quad (1)$$

式中: $f_u$ 为劈裂强度; $f_{cu}$ 为立方体抗压强度.

由图7可知,实测的橡胶再生混凝土劈裂强度比按照公式(1)计算的劈裂强度低,约降低25.4%,故普通混凝土的立方体抗压强度与劈裂强度之间的关系不再适用于橡胶再生混凝土,需要进行相应的修正.在公式(1)的基础上,根据试验结果,通过回归修正后的橡胶再生混凝土立方体抗压强度与劈裂强度之间关系曲线如图7所示,具体关系式为

$$f'_u = 0.214 2 f'_{cu}{}^{0.623 8} \quad (2)$$

公式(2)的回归系数  $R^2 = 0.992 8$ , 表明两者相关性很好, 式中  $f'_{cu}$ 、 $f'_u$  分别表示橡胶再生混凝土立方体抗压强度和劈裂强度。

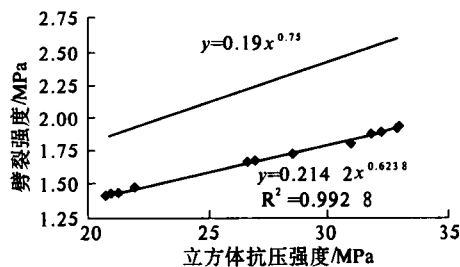


图7  $f'_{cu}$  -  $f'_u$  关系曲线

Fig. 7 Curve relationship of  $f'_{cu}$  -  $f'_u$

### 3 结论

(1) 掺入废橡胶的再生混凝土立方体抗压强度及劈裂强度均低于再生混凝土, 且有随着橡胶取代率增加而强度下降的趋势, 其中对抗压强度的影响程度略大。

(2) 废橡胶粒径对橡胶再生混凝土的强度影响不是非常显著, 但显示出废橡胶粒径越大橡胶再生混凝土的强度略大的趋势。

(3) 再生混凝土取代率对橡胶混凝土的强度影响比较明显, 且有随着再生混凝土取代率增加而强度下降的趋势。

(4) 通过对试验数据的统计回归, 得出了橡胶再生混凝土立方体抗压强度与劈裂强度之间关系的推荐公式, 为橡胶再生混凝土的研究提供参考。

### 参考文献:

- [1] 刘长. 中国轮胎资源循环利用行业发展及政策导向[J]. 橡胶技术与装备, 2008, 34(3): 5-15.
- [2] TOUTAN TOUTANJI H A. The use of rubber tire particle in concrete to replace mineral aggregates [J]. Cement and Concrete Composites, 1996, 18(2): 135-139.
- [3] BENAZZOUK A, MEZREB K, DOYEN G, et al. Effect to rubber aggregates of physico-mechanical behaviour of cement-rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates [J]. Cement & Concrete Composites, 2003, 25(7): 711-720.
- [4] 王占锋, 王社良, 翁光远. 不同粗骨料取代率再生混凝土力学性能试验研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2012, 33(4): 32-35.
- [5] 亢景付, 任海波, 张平祖. 橡胶混凝土的抗裂性能和弯曲变形性能[J]. 复合材料学报, 2006, 23(6): 158-162.
- [6] 肖建庄, 李佳彬, 孙振平, 等. 再生混凝土的抗压强度研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2004, 32(12): 1558-1561.
- [7] RAVINDRARAJAH R, TAM C T. Recycled concrete as fine and coarse aggregate in concrete [J]. Magazine of Concrete Research, 1987, 39(141): 214-220.
- [8] 刘日鑫, 侯文顺, 徐永红, 等. 废橡胶颗粒对混凝土力学性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2009(3): 341-344.
- [9] GB/T 50081—2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [10] GB/T 50010—2010, 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

## The Influence of Waste Rubber on the Basic Mechanical Properties of Recycled Concrete

ZHANG Wei-dong, XIANG Jun, WANG Cheng-wu

(School of Architecture and Civil Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223001, China)

**Abstract:** Based on the experiments of cube specimens of different waste rubber diameter, different waste rubber replacement rates (0.5%, 10%, 15%) the influence on the compressive strength and split tension strength was studied. The results show that the relationship between recycled concrete with rubber and the replacement rate of waste rubber, recycled concrete are obvious, and the strength of concrete increases when the rate of replacement increases, the maximum reduction is 45% and 31%; but the relationship between recycled concrete with rubber and the diameter of waste rubber is less obvious, the more smaller the strength is more lower, the maximum reduction of the compressive strength and split tension strength is 1.6%, 2.1%. Based on the data regression, the relationship between the compressive strength and split tension strength of recycled concrete with rubber is established.

**Key words:** waste rubber; recycled concrete; replacement rate; compressive strength; split strength